

(様式第 9 号)

学位論文審査の結果の要旨

氏 名	Tana Qian
審 査 委 員	<div>主 査 恒川 篤史 (印)</div> <div>副 査 山中 典和 (印)</div> <div>副 査 増永 二之 (印)</div> <div>副 査 荊木 康臣 (印)</div> <div>副 査 Peng Fei (印)</div>
題 目	Hyperspectral remote sensing of soil salinity in Minqin oasis, China
<p>審査結果の要旨（2,000字以内）</p> <p>世界の乾燥地では、塩類集積による農業生産力の低下が大きな問題となっている。中国では塩類集積の影響を受けている土地は、その 69%が北西部に集中している。民勤（ミンチン）オアシスは、中国北西部の甘粛省に位置し、祁連山脈を源とする石羊河の下流域にある。民勤オアシスでは大規模な灌漑農業が行われているが、土壌の塩類化が進行しており、放棄された耕地が年々増えている。そのため塩類集積地の広がりとその程度を正確に把握することが塩害に対する適切な対策を取る上で喫緊の課題となっている。</p> <p>塩類集積地の状況を把握するには、現地調査で採取した土壌の塩分を測定する方法が一般的である。しかしこのような現地調査にもとづく方法は、その結果を得るために多くの時間と費用を要する。そこで時間的・経済的効率性に優れる衛星リモートセンシングによる塩類集積地の把握に関する研究が進められてきた。しかし、塩類の分光反射特性は全域において比較的平坦な特性を持つので、従来の多波長帯での観測データを利用する方法では、塩分濃度を定量的に推定することはむずかしい。そこで、電磁波を計測する際の分光波長帯（バンド）を数 nm 程度の精度で刻み、数百のバンドで観測するハイパースペクトルリモートセンシングの利用が検討されてきている。ハイパースペクトルリモートセンシングでは、土壌の反射率から微細な分光反射特性を抽出することで、土壌状態の詳細な解析が可能となる。塩類の種類等によって、その分光反射特性も異なるため、植生指数のように一般的に用いられる指数はこれまで開発されていない。</p>	

そこで本研究では、民勤オアシス北部の湖区を対象として、ハイパースペクトルデータを用いて、土壌の塩分濃度を推定することを目的とした。具体的には、①民勤オアシスの塩類土壌の分布状況の把握およびその塩類化要因の解明、②実験室で測定された土壌の分光反射率を用いた土壌塩分濃度の推定、③野外で測定された土壌の分光反射率を用いた土壌塩分濃度の推定という三つの課題に取り組んだ。本論文の主たる成果は以下の通りである。

第一に、塩類土壌の分布状態と塩類化要因を分析した。塩類集積状況を把握するため、湖区全域から 94 個の表層土サンプルを採取し、 $EC_{1:5}$ 、pH、土壌水分含量等を分析した。そして、地下水位、灌漑水路までの距離、地形指標（CTI）、植物被覆率などの要因と土壌の $EC_{1:5}$ との関係をグレイ相関分析により解析した。その結果、塩類土壌は多様な分布状況を示し、 $EC_{1:5}$ と最も相関の高い要因は灌漑水路までの距離であった。

第二に、実験室で測定された土壌の分光反射率を用いて土壌塩分濃度を推定するため、湖区全域から 64 個の表層土サンプルを採取し、実験室で $EC_{1:5}$ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、有機物含量等を分析した。合わせて各サンプルの分光反射率を分光放射計（波長範囲：350nm～2500nm）で計測した。計測された分光反射率から得られた正規化塩分指数と土壌塩分濃度との相関関係を IDL により解析した。正規化塩分指数（Normalized Difference Salinity Index: NDSI）とは、正規化差分により定義される指数で、二つのバンド^{*}の反射率の差を±1 の範囲に正規化した値である。その結果、土壌塩分濃度と強い相関を持つ 1358nm と 2382nm を中心とする二つのバンドが選択された。この 2 バンドを用いた NDSI と土壌塩分濃度（SSC）との線形回帰分析を行って、土壌試料の土壌塩分濃度を推定する予測式（ $SSC[g/kg]=5312.3 \times NDSI_{2382:1358} + 34.2$ （ $r^2=0.827$ ））を得た。

第三に、携帯型分光放射計（波長範囲：325nm～1075nm）を用いて野外で 59 点の土壌サンプルの分光反射率を計測し、持ち帰った土壌サンプルについて 2 と同様の土壌化学性を分析した。計測された分光反射率に対して、包絡線の除去と 1 次微分などの前処理を行って、測定ノイズの影響を軽減する効果を比べた結果、包絡線の除去が最適だと判断された。また土壌塩分濃度と最も相関の高い 489nm と 517nm を中心とする二つのバンドの組み合わせを用いて土壌塩分濃度を推定する予測式（ $SSC[g/kg]=-5223.3 \times NDSI_{489:517} + 40.3$ （ $r^2=0.275$ ））を得た。

以上を要するに、本研究の成果は、土壌塩分濃度と強い相関を持つ分光波長帯を特定し、正規化塩分指数を用いて土壌塩分濃度を推定する手法を導いたことである。これらの研究は深刻な土壌の塩類化が進行する当該地域における塩類集積状況を効率的に把握する手法に関して高い学術的知見を有するものであり、本審査会は、本論文を学位論文として十分価値があるものと判定した。